

На правах рукописи

Садовников Владимир Юрьевич

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ДОСТУПА
К ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫМ УСЛУГАМ
В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ ABC**

05.12.13-Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича".

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Гольдштейн Борис Соломонович

Официальные оппоненты: Самуйлов Константин Евгеньевич, доктор
технических наук, профессор, ФГОБУ ВПО
"Российский Университет дружбы народов",
зав. кафедрой систем телекоммуникаций
Юркин Юрий Викторович, кандидат
технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО
"Петербургский государственный университет
путей сообщения", доцент

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук (ИППИ РАН) г. Москва.

Защита состоится 20 июня 2013 года в 16.00 на заседании
диссертационного совета Д. 219.004.02 при Федеральном государственном
образовательном бюджетном учреждении высшего профессионального
образования «Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», 191186, Санкт-
Петербург, наб. реки Мойки, д. 61.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального
государственного образовательного бюджетного учреждения высшего
профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича».

Автореферат разослан 20 мая 2013 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент

В.Х. Харитонов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. На современном этапе развития инфокоммуникационной сети – этапе конвергенции фиксированной и мобильной связи, остаётся нерешённой проблема эффективного и качественного предоставления абонентам всего перечня услуг независимо от их географического местоположения. Отсутствие на сегодня высокотехнологичного доступа к инфокоммуникационным услугам обосновывает актуальность данного диссертационного исследования в прикладном значении.

Поскольку на сегодняшний день создание единой инфраструктуры для всех сетей доступа и единого интерфейса доступа для всех пользовательских устройств весьма проблематично, то при решении озвученной проблемы следует учитывать уже имеющиеся технологии и сети доступа, в тоже время не привязываться к ним для возможности добавления новых стандартов. Как возможный вариант такого решения учёными и специалистами исследуется идея адаптируемого к сетевым конфигурациям доступа, которая возникла ввиду необходимости расширения спектра предоставляемых услуг на начальном этапе цифровизации сетей связи, использующих систему сигнализации SS7. Её полномасштабной трактовкой сегодня в инфокоммуникационной среде стала концепция постоянного наилучшего соединения (Always Best Connected, ABC), находящаяся в стадии разработки и до сих пор не имеющая принятого стандарта.

Существенный вклад в исследование обозначенной проблемы внесли учёные нашей страны: Аджемов А.С., Башарин Г.П., Берлин А.Н., Васильев А.Б., Вишневыский В.М., Волков А.Н., Гольдштейн Б.С., Гольдштейн А.Б., Гургенидзе А.Т., Данилов В.И., Дымарский Я.С., Ершов В.А., Костин А.А., Кучерявый А.Е., Кучерявый Е.А., Назаров А.Н., Нейман В.И., Олифер В.Г., Пшеничников А.П., Росляков А.В., Самуйлов К.Е., Сиверс М.А., Соколов Н.А., Степанов С.Н., Цитович И.И., Шнепс-Шнеппе М.А., Яновский Г.Г. и другие, а также зарубежные учёные: Chebrolu K., Fodor G., Furuskär A., Gomes J., Gustafsson E., Iversen V., Kleinrock L., Mishra R., Rao R., Venkatausbramanian N., Xing Bo.

Согласно концепции ABC, сеть, поддерживающая постоянное наилучшее соединение (сеть ABC), – это совокупность разнородных сетей доступа, которая позволяет обеспечить доступ к услугам из любой точки мира через любую доступную сеть доступа и через любое доступное оборудование. С развитием сетей ABC появится единая сетевая инфраструктура, представляющая собой один из решающих факторов модернизации отрасли телекоммуникаций и интеграции услуг. Потенциальная востребованность в исследовании доступа к услугам посредством сетей ABC очевидна и обосновывает актуальность диссертационного исследования в научном значении.

Как следствие, для запрашиваемых пользовательскими устройствами услуг, необходимым становится использование общего ресурса имеющихся в наличии сетей доступа, поскольку это позволяет повысить суммарный объём одновременно предоставляемых услуг. Однако разнородная структура и разрозненность сетей доступа являются препятствиями на пути к эффективному и качественному предоставлению услуг. По этой причине актуальным представляется исследование моделей и методов доступа к услугам с точки зрения эффективного использования ресурсов разнородных сетей доступа, в совокупности образующих сеть ABC.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационного исследования состоит в разработке и анализе моделей и методов эффективного доступа к инфокоммуникационным услугам, учитывающих взаимодействие разнородных сетей доступа, которые в совокупности образуют сеть ABC. Эти модели и методы должны обеспечивать эффективное обслуживание потоков заявок разных классов услуг разнородными сетями доступа благодаря сбалансированному распределению ресурсов этих сетей.

Поставленная цель определила необходимость решения задач:

1. Анализ моделей реализации ABC, предлагаемых исследователями, и формулирование концептуальной модели, воплощающей идею наилучшего доступа к инфокоммуникационным услугам.
2. Анализ решений и методов по распределению ресурсов сетей доступа, с целью определения нового критерия оптимизации.
3. Разработка модели наилучшего доступа к услугам.
4. Оптимизация доступа к услугам на основе нового критерия.
5. Разработка механизма балансировки используемых ресурсов сетей доступа.
6. Программное моделирование ранее известных алгоритмов распределения ресурсов сетей доступа и алгоритмов, разработанных в ходе диссертационного исследования, с целью сравнения их эффективности.
7. Формирование рекомендаций по проектированию и развитию сетей ABC.

Методы исследования. В процессе диссертационного исследования использованы методы теории случайных процессов, методы теории телетрафика, алгоритмического моделирования и оптимизации систем с использованием основной теоремы математического программирования (ОТП) и метода максимального элемента (ММЭ), языка SDL.

Научная новизна. Продемонстрирован эффективный доступ к услугам, базирующийся на методе, который впервые не только распределяет, но и балансирует ресурсы разнородных сетей доступа, в совокупности образующих сеть ABC, основываясь на нагрузке, создаваемой услугами на эти сети доступа.

При этом, научную новизну представляют следующие результаты, полученные в процессе диссертационного исследования.

1. Разработан универсальный метод выбора наилучшей сети доступа для запрашиваемой услуги определённого класса на основе идеи минимизации потерь общего ресурса сетей доступа. Новизна метода заключается в

универсальном механизме оценки эффективности распределения ресурса сети доступа, учитывающем наличие взаимозависимостей между услугами определённых классов, что позволяет решать задачи по эффективному распределению общего ресурса сетей доступа, базируясь на различных критериях.

2. Получена оценочная функция эффективности распределения ресурса сети доступа, базирующаяся на нагрузке, создаваемой услугами на сеть доступа, которая позволила сформулировать функцию оценки нового критерия оптимизации (целевую функцию). Новизна этой функции в том, что она учитывает количество и классы используемых услуг в сети доступа, при этом удовлетворяет всем положениям основной теоремы математического программирования (ОТП). Сформулированная целевая функция представляет собой суперпозицию оценочных функций и также удовлетворяет ОТП. Решение задачи получено алгоритмическим способом.

3. Впервые разработан алгоритм эффективного распределения общего ресурса сетей доступа с перекрывающимися зонами покрытия (Access Network Resource Allocation, ANRA), в основе которого лежит метод максимального элемента (ММЭ).

4. Предложен новый метод распределения сетевого ресурса, базовую реализацию которого представляет разработанный алгоритм ANRA. В отличие от известных методов он учитывает нагрузку, создаваемую на сети доступа, а не запрашиваемую услугой ширину полосы пропускания.

5. Впервые разработан алгоритм балансировки используемых ресурсов сетей доступа с перекрывающимися зонами покрытия (Access Network Resource Balancing, ANRB), обеспечивающий равномерное перераспределение ресурсов сетей доступа, занятых услугами, и не имеющий аналога в исследованиях, связанных с АВС.

6. Для достижения цели диссертации разработан алгоритм эффективного распределения и балансировки ресурсов сетей доступа (Effective Resource Allocation and Balancing, ERAB), не имеющий аналога в исследованиях, связанных с АВС. Сочетая работу алгоритмов ANRA и ANRB, он представляет собой оптимизированный вариант реализации предложенного нового метода распределения сетевого ресурса.

7. Разработана сетевая модель наилучшего доступа к услугам, которая в отличие от моделей, предлагаемых исследователями, рассматривает идею постоянного наилучшего соединения одновременно в двух аспектах: как со стороны сетей доступа, так и со стороны пользовательских устройств и приложений.

Практическая ценность результатов работы. Результаты работы могут быть применены в Санкт-Петербургском государственном университете им. проф. М.А. Бонч-Бруевича при создании прототипа системы, совместимой с постоянным наилучшим соединением. Результаты работы использованы:

- при разработке в ОАО «НТЦ ПРОТЕЙ» систем: Bulk SMS/MMS, XVLР, Bulk SMS XVLР в части управления нагрузкой на полосу

пропускания для каждого пользователя системы при организации массовых рассылок SMS и MMS; WIX в части организации наиболее эффективного доступа абонентов в сеть Интернет путём объединения множества точек доступа сетей Wi-Fi в единую организованную сеть;

- для усовершенствования в ОАО «Завод Красная Заря. Системы цифровой связи» механизмов обмена данными по внутреннему протоколу HDLC в целях оптимального распределения нагрузки между сетевыми элементами (СЭ) сети станций ЦАТС «КРАЗАР», что подтверждается соответствующими актами.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Четырнадцатой Санкт-Петербургской Ассамблеи молодых ученых и специалистов (СПб, 2009), на IV Международном научном конгрессе «Нейробиотелеком-2010» (СПб, 2010), на международном форуме FRUCT 9 (Петрозаводск, 2011), на пленарном заседании 64-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПб, 2012), а также на ежегодных научно-технических конференциях (профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов; студентов, аспирантов и молодых специалистов) СПбГУТ с 2009 по 2012 год.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано одиннадцать печатных работ, из них пять статей в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ.

Личный вклад. Все результаты, составляющие содержание диссертационной работы, получены автором лично.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и 2-х приложений. Объем пояснительной записки 139 страниц, 41 иллюстрация, список литературы насчитывает 147 наименований, объём приложения 1 составляет 7 страниц программного текста, в приложении 2 приведены документы о внедрении материалов диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Во **введении** обоснован выбор темы диссертации, её актуальность, новизна, сформулированы цель и задачи работы, перечислены основные научные результаты диссертации, дано её краткое содержание, определены практическая ценность и область применения результатов, приведены сведения об апробации работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** сделан анализ основных концепций в развитии инфокоммуникационной сети, обоснована логичность появления концепции ABC. Сформулирована концептуальная модель, воплощающая идею наилучшего доступа к инфокоммуникационным услугам (рис.1), предусматривающая:

- прозрачный доступ к услуге (принцип прозрачности): при обнаружении сети доступа физический интерфейс wlan0 подключается к ней, а Проху-

модуль информируется драйвером интерфейса о новом физическом соединении. Приложение устанавливает соединение с Проху-модулем, а Проху-модуль – с развёрнутым в сети Интернет Проху-сервером;

- прозрачное использование сети доступа (принцип независимости): все пакеты приложения, отправленные через Проху-модуль, автоматически маршрутизируются им в нужную сеть доступа и достигают Проху-сервера, который, перенаправляет их на сервисную платформу;
- прозрачный переход в другую сеть (принцип бесшовности): в процессе обмена данными между приложением и сервером приложений может быть обнаружена новая сеть доступа и установлено соединение с ней. В этом случае Проху-модуль может послать REINVOKE-запрос на Проху-сервер и перенаправить RTP-поток уже через другой физический интерфейс.

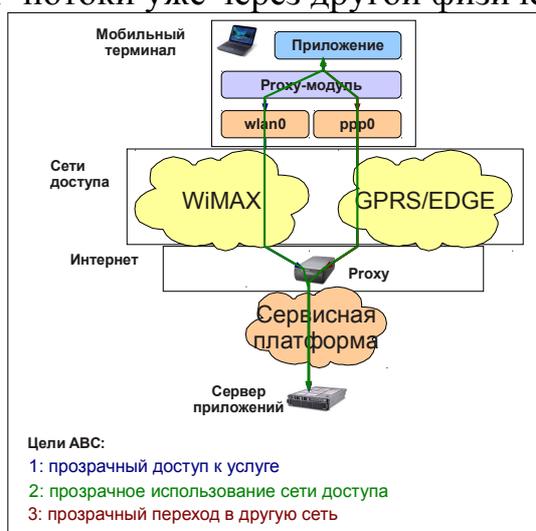


Рис. 1. Концептуальная модель, воплощающая идею наилучшего доступа к инфокоммуникационным услугам

Остаются проблемы доступа к услугам в сети Интернет, требующим сохранять за пользовательским устройством фиксированный IP-адрес. Эти проблемы можно решить, встроив в Проху-модуль возможность туннелирования IP-пакетов и реализовав NAT на стороне Проху-сервера.

В поисках решения для сформулированной концептуальной модели выявлено, что эффективными являются методы по распределению ресурсов сетей доступа, базирующиеся на алгоритме «выбор первого подходящего» (First Fit Decreasing, FFD), в основе которого лежит метод решения классической задачи упаковки объектов в контейнеры. Однако эти решения не лучшие, так как в процессе предоставления услуги оперируют шириной полосы пропускания, которая не всегда может быть использована эффективно, то есть полностью загружена.

Оптимизация, которая сводится к усложнению логики принятия решения о выделении ресурсов сетей доступа в рамках алгоритма FFD, также не является лучшей стратегией в повышении эффективности доступа к услугам. Так, в методе динамического выбора доступа с учётом множественных ограничений, позволившему получить наиболее близкие к оптимальным

результаты по энергопотреблению и пользовательским предпочтениям, авторы меняют порядок обработки заявок в очереди алгоритмом «выбор первого подходящего с подменой» (First Fit Decreasing with Substitution, FFDwS), что лучше удовлетворяет пользовательским предпочтениям, но никак не отражается на нагрузке на сети доступа. В результате этого исследования сделаны выводы:

- в целях организации эффективного доступа к услугам следует рассматривать распределение ресурсов сетей доступа с точки зрения нагрузки, создаваемой этими услугами на каждую сеть доступа, но таких решений на сегодняшний день в публикациях нет;
- остаются не решёнными вопросы миграции абонента между сетями доступа и балансировки нагрузки на сети доступа, что необходимо для постоянного наилучшего соединения.

Как следствие, определён новый критерий оптимизации – критерий «равномерного распределения нагрузки между сетями доступа при миграции абонента», и сформулированы цель и задачи дальнейшего диссертационного исследования.

Во второй главе разработана сетевая модель наилучшего доступа к услугам (рис.2), соответствующая концептуальной модели (рис.1). Применительно к ней на основе нового критерия оптимизации решена задача эффективного распределения ресурсов сетей доступа, образующих в совокупности сеть ABC. Решение было найдено посредством разработанного алгоритма эффективного распределения общего ресурса сетей доступа с перекрывающимися зонами покрытия (ANRA), который представляет базовую реализацию нового метода - метода распределения сетевого ресурса на основе нагрузки, создаваемой на сети доступа. Разработан механизм балансировки используемых ресурсов сетей доступа и предложено совместное использование его с алгоритмом ANRA для достижения цели диссертации. Как следствие разработан алгоритм эффективного распределения и балансировки ресурсов сетей доступа (Effective Resource Allocation and Balancing, ERAB), представляющий собой оптимизированный вариант реализации вышеназванного нового метода.

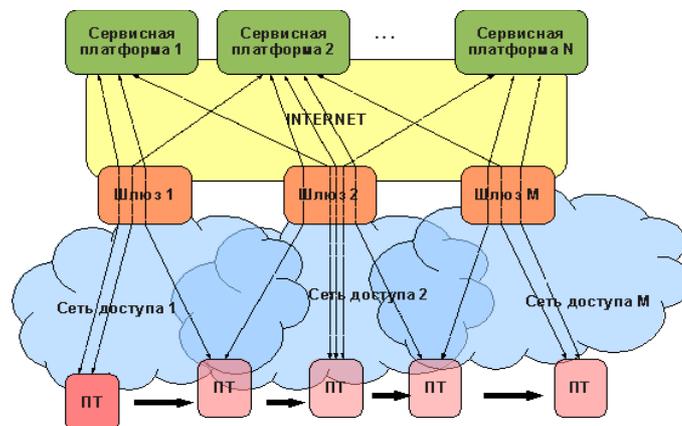


Рис. 2. Разработанная сетевая модель наилучшего доступа к инфокоммуникационным услугам

При этом сначала разработаны и проанализированы три сетевые модели доступа к услугам, которые включает в себя разработанная сетевая модель наилучшего доступа к инфокоммуникационным услугам. Каждая из моделей соответствует одному из принципов, которые демонстрирует концептуальная модель. Анализ моделей позволил получить присущие каждому принципу особенности, которые учитывает созданный в процессе дальнейшего диссертационного исследования математический аппарат.

Посредством первой из трёх моделей - модели доступа к услугам через одну сеть доступа, которая предусматривает прозрачный доступ к услуге (принцип прозрачности), выведена оценка, определяющая, какую долю ресурса в сети доступа занимает услуга определённого класса. Модель предусматривает обслуживание каждой группы пакетов отдельно, то есть её можно отнести к классу многопоточковых моделей, обрабатывающих большое количество потоков заявок на занятие канального ресурса сети с интенсивностями, стремящимися к нулю. Ввиду этого, суммарные потоки по свойствам будут приближаться к пуассоновскому потоку, а суммарная интенсивность всех потоков будет стремиться к константе. Это справедливо для транзитной части сети (шлюза), где происходит смешивание большого числа потоков заявок. Кроме того, в такой модели все потоки заявок являются первичными, а число источников заявок является конечным. Предполагается, что длительности обслуживания заявок имеют экспоненциальное распределение и не зависят как друг от друга, так и от входных потоков заявок. Поступающие заявки обслуживаются на основе модели с явными потерями, то есть получают отказ и не возобновляются ни в каком виде, если для их поступления не хватает канального ресурса сети. Была введена функция, принимающая решение об обслуживании заявки:

$$f_{serv}(b_k, i) = \begin{cases} 1, & i + b_k \leq v \\ 0, & i + b_k > v \end{cases}$$

где: b_k – количество минимальных по длине заявок, которые следует обслужить, как если бы это была одна заявка для потока k ;

v – пропускная способность сети доступа, выраженная в количестве минимальных по длине заявок, обслуживаемых в единицу времени;

i – общее число единиц ресурса сети доступа, занятой обслуживанием потоков, $i = \sum_{k=1}^n b_k \cdot i_k$. Заявка потока k : будет обслужена, если $i + b_k \leq v$, в

противном случае будет потеряна без возобновления. Динамика изменения общего числа обслуживаемых заявок определяется конечным пространством состояний S и многомерным случайным процессом, определённым на этом пространстве. Само пространство S состоит из векторов заявок потоков \vec{i} удовлетворяющих условию $\sum_{k=1}^n b_k \cdot i_k \leq v$.

Обозначим за λ_k интенсивность поступления заявок потока k , а за μ_k – интенсивность обслуживания заявок потока k , где $k=1,2,\dots,n$. Учитывая $\forall k=1,2,\dots,n: 0 < \lambda_k < \infty, 0 < \mu_k < \infty$ и положив, что $\lambda_k < \mu_k$, данный

многомерный случайный процесс можно охарактеризовать как марковский процесс. Так как состояния $\vec{i}_s \in S$ являются сообщающимися, можно говорить о наличии стационарного состояния для этого процесса, вследствие чего, исходя из найденных значений стационарных вероятностей $p(\vec{i}_s)$, была выведена доля использования услуги класса k в стационарном режиме:

$$I_k = \sum_{s=0}^S i_{sk} \cdot p(\vec{i}_s) \quad \forall k=1 \dots n \quad (1)$$

Эта оценка позволяет определить, какую долю ресурса в сети доступа может занимать услуга определённого класса.

Посредством второй модели - модели доступа к услугам через несколько сетей доступа, которая предусматривает прозрачный выбор сети доступа (принцип независимости), создан универсальный метод, выбирающий для запрашиваемой услуги определённого класса наилучшую сеть доступа. Метод позволяет выбирать такую сеть, для которой уменьшение общего ресурса сетей доступа будет минимальным в процессе обслуживания услуги определённого класса.

Обозначив за \vec{u}^m вектор пользователей всех классов услуг в сети m , а за \vec{u}_{+1}^m – вектор пользователей услуг с учётом запроса ещё одной услуги, получим изменение пропускной способности сети:

$$\Delta C^m = C^m(\vec{u}_m) - C^m(\vec{u}^m + \Delta \vec{u}^m) = C_{max}^m \cdot (c_{+1}^m - c^m),$$

где C^m – текущее количество пользователей услуги в сети m из максимально возможного C_{max}^m , а $c^m = \frac{C_{max}^m - C^m}{C_{max}^m}$ – доля пользователей, которых дополнительно может обслужить сеть m . При этом, на вектор \vec{u}_{+1}^m накладывается ограничение в виде области гарантии QoS K^m с границей, определённой уравнением $K^m(c^m, \vec{u}^m) = 0$.

В методе задача абонентского терминала, выбирающего сеть доступа m , сводится к минимизации разности между количеством пользователей, которых может обслужить сеть, до и после запроса услуги:

$$m_{opt} : \Delta C^{m_{opt}} < \Delta C^m, \quad \forall m \neq m_{opt} \quad (2)$$

Иначе говоря, находится сеть, для которой уменьшение пропускной способности будет минимальным, а за счёт множества вариантов определения уравнения для границы области K^m метод является универсальным.

Третья модель представляет вынужденный переход из одной сети доступа в другую в случае смены пользовательским терминалом (ПТ) своего географического местоположения, что соответствует прозрачному переходу из одной сети доступа в другую (принцип бесшовности). Когда ПТ выходит за пределы текущей сети доступа, он может либо попасть в другую сеть доступа, либо остаться вне зоны досягаемости какой-либо сети доступа вообще. Первая ситуация позволит сделать бесшовный переход, а вторая ситуация приведёт к вынужденному отключению доступа ко всем активным

услугам. С другой стороны, новая сеть доступа может оказаться перегружена, вследствие чего будет сильно снижено качество предоставления услуг из-за недостатка полосы пропускания или наличия задержек пакетов. Решением проблемы является построение сетей доступа с перекрывающимися зонами покрытия, что позволит балансировать нагрузку между сетями доступа, избегать перегрузки той или иной сети, а также иметь временной запас на переключение ПТ с одной сети на другую.

Подходя к оптимизации, была получена оценочная функция эффективности распределения ресурса сети доступа, которая позволила затем сформулировать функцию оценки нового критерия оптимизации (целевую функцию). Сначала было сформулировано условие, по которому следует выбирать сеть доступа, полагая, что в некоторой географической точке имеется зона покрытия из сетей доступа. Учитывалось:

- задача распределения запрашиваемого пользователем ресурса имеет смысл, если в наличии имеется хотя бы две сети доступа: $M \geq 2$;

- если имеется только одна сеть доступа, то весь ресурс априори запрашивается у этой сети;

- отсутствие сети доступа вообще означает 100% отказ в обслуживании.

Поэтому, чтобы максимально сохранить равномерность распределения нагрузки, необходимо было найти такой вектор \vec{d} , что $\bar{O}(\vec{d}) \Rightarrow \max$, где \vec{d} – вектор принятия решения о распределении запрашиваемого ресурса между сетями, компоненты которого являются целочисленными. Иначе говоря, вектор \vec{d} всегда имеет единственную отличную от нуля составляющую, которая показывает, в какой сети следует выделить запрашиваемый ресурс.

$\bar{O}(\vec{d})$ – общая эффективность распределения нагрузки между сетями в момент запроса ресурса. Сформулированное условие выбора сети для максимального сохранения равномерного распределения нагрузки относится к классу выпуклого программирования. Согласно ОТМП, для того чтобы вектор \vec{d} был оптимальным, с вектором неопределённых множителей $\vec{\Psi} = \{\Psi_1 \dots \Psi_k\}$ была составлена функция Лагранжа для нашей задачи

$$\Phi(\vec{d}, \vec{\Psi}) = \bar{O}(\vec{d}) + \Psi \cdot \left(1 - \sum_{m=1}^M d_m \right) \quad (3)$$

Необходимые и достаточные условия оптимальности этой функции позволили подобрать оценочную функцию сети доступа, которая соответствовала бы требованиям к оценочной функции $o(y)$ сети доступа, а именно:

- при отсутствии нагрузки функция должна возвращать максимальное значение, то есть $o(y)|_{y=0} = \max$;
- при максимальной нагрузке на сеть функция должна возвращать нулевое значение, то есть $o(y)|_{y=1} = 0$;
- функция должна быть непрерывной: $\lim_{y \rightarrow a} o(y) = o(a) \forall a \in (0, 1)$;
- функция должна быть монотонно убывающей: $\frac{do(y)}{dy} < 0 \forall y \in (0, 1)$;

- функция должна быть вогнутой: $\frac{d^2 o(y)}{dy^2} < 0 \forall y \in (0, 1)$.

Такая оценочная функция при принятии решения о выделении ресурса конкретной сетью доступа позволяет сделать следующие выводы:

- менее нагруженные сети доступа имеют больший приоритет чем более нагруженные;
- ввиду того, что выделение ресурса в более загруженной сети обходится дороже, чем в любой менее загруженной сети, распределение поступающей нагрузки между сетями доступа должно стремиться к равномерному: $\sum_{\substack{i=1 \dots M-1, \\ j=i+1 \dots M}} |y_i - y_j| \rightarrow \min$. Согласно ОТМП необходимые и достаточные условия оптимальности следующие:

$$\frac{\partial \Phi(\vec{d}, \vec{\Psi})}{\partial d_m} = \frac{\partial \tilde{o}(y_m, d_m)}{\partial d_m} - \Psi \begin{cases} \leq 0, & d_m = 0 \\ = 0, & d_m > 0 \end{cases} \quad (4)$$

Приняв, что $\frac{d^2 o(y)}{dy^2} = C_1, C_1 = \text{const} < 0$, была получена предварительная оценочная функция сети доступа: $o(y) = 1 - y^2$ (5)

Ввиду того, что эта функция на всей своей области определения убывает с линейно возрастающей скоростью, это не является лучшим вариантом оценочной функции. Функция должна ускоряться в своём убывании по мере приближения к точке $y=1$ и, в идеале, значение её производной должно стремиться к отрицательной бесконечности. Это можно трактовать как невозможность выделения какого-либо ресурса полностью загруженной сетью доступа. Поэтому была взята схожая функция вида: $o(y) = \sqrt{1 - y^2}$ (6) и проанализированы её производные в граничных точках интервала $[0, 1]$:

$$\lim_{y \rightarrow 0+0} \frac{do(y)}{dy} = \lim_{y \rightarrow 0+0} \left(-\frac{y}{\sqrt{1-y^2}} \right) = 0, \quad \lim_{y \rightarrow 1-0} \frac{do(y)}{dy} = \lim_{y \rightarrow 1-0} \left(-\frac{y}{\sqrt{1-y^2}} \right) = -\infty .$$

Это означает, что в точке $y=0$ функция также имеет экстремум, а ближе к точке $y=1$ скорость убывания функции стремится к бесконечности, что вполне подходит к нашим требованиям. Взятая оценочная функция в сравнении с предварительной оценочной функцией изображена на рисунке 3.

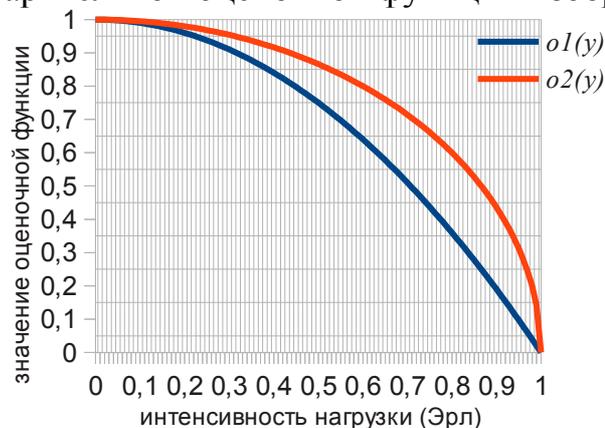


Рис. 3. Графики оценочных функций $o1(y) = 1 - y^2$ и $o2(y) = \sqrt{1 - y^2}$

Касательная к ней в точке, близкой к $y=1$, будет направлена вертикально, то есть, скорость изменения функции стремится к отрицательной бесконечности.

Функция Лагранжа с использованием этой оценочной функции будет:

$$\Phi(\vec{d}, \vec{\Psi}) = \sum_{m=1}^M \sqrt{1 - (y + d_m \cdot \Delta y)^2} + \Psi \cdot \left(1 - \sum_{m=1}^M d_m\right) \quad (7)$$

Необходимые и достаточные условия оптимальности согласно ОТМП будут следующими:

$$\frac{\partial \Phi(\vec{d}, \vec{\Psi})}{\partial d_m} = \frac{-\Delta y (y + d_m \Delta y)}{\sqrt{1 - (y + d_m \Delta y)^2}} - \Psi \begin{cases} \leq 0, & d_m = 0 \\ = 0, & d_m > 0 \end{cases} \quad (8)$$

Формула (8) не требует дальнейшего исследования, так для выбора сети доступа нужно найти только одну единственную оптимальную компоненту вектора \vec{d} отличную от нуля. Достаточно оценить убывание эффективности распределения нагрузки между сетями доступа при выборе обслуживающей сети доступа, то есть: $k: \min_k \left[\Delta o_k = \sqrt{1 - y_k^2} - \sqrt{1 - (y_k + \Delta y)^2} \forall k = 1 \dots M \right]$ (9)

Найдя k , положим $d_m = \begin{cases} 0, & m \neq k \\ 1, & m = k \end{cases}$.

Для решения оптимизационной задачи на основе оценочной функции сформулирована целевая функция, которая представляет суперпозицию оценочных функций. Необходимо найти такую матрицу распределения занятого ресурса между сетями доступа \vec{d} , распределив компоненты вектора распределяемого ресурса $\vec{v} = [v_1, \dots, v_n]$ так, что $O(\vec{d}) \Rightarrow \max$. При этом, нагрузка в сети доступа m : $y_m = \sum_{n=1}^N \frac{\lambda_n^m}{\mu_n} \cdot d_n^m$ (10)

целевая функция:

$$O(\vec{d}) = \sum_{m=1}^M o(\vec{d}^m) = \sum_{m=1}^M \sqrt{1 - \left(\sum_{n=1}^N \frac{\lambda_n^m}{\mu_n} \cdot d_n^m \right)^2} \quad (11)$$

Общее количество запрашиваемых услуг, которое необходимо распределить между сетями доступа: $\sum_{n=1}^N v_n = V$. В результате распределения получается матрица распределения ресурса по сетям доступа \vec{d} , удовлетворяющая

условиям: $\begin{cases} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M d_n^m = V \\ d_n^m \geq 0 \quad \forall m, n \end{cases}$

Так как оценочная функция сети доступа соответствует всем требованиям выпуклого программирования, то и сумма оценочных функций по каждой сети также соответствует всем требованиям ОТМП. Решение было найдено посредством разработанного алгоритма эффективного распределения общего ресурса сетей доступа с перекрывающимися зонами покрытия (ANRA), который базируется на методе максимального элемента:

- ресурсы распределяются пошагово, по одному, начиная с нулевого состояния, когда ни на одну сеть не выделено ещё ни одного ресурса;

- на каждом шаге ресурс выделяется на ту сеть, на которой достигается минимальная потеря эффективности.

В качестве механизма балансировки используемых ресурсов сетей доступа был разработан алгоритм балансировки ресурсов сетей доступа с перекрывающимися зонами покрытия (ANRB), который уменьшает неравномерность распределения ресурсов сетей доступа, возникающую по мере поступления и завершения обслуживания заявок на предоставление услуг. Для достижения цели диссертации был разработан алгоритм эффективного распределения и балансировки ресурсов сетей доступа (Effective Resource Allocation and Balancing, ERAB), который перераспределяет ресурс при помощи ANRB в случае, когда алгоритм ANRA не может его выделить. Алгоритм ERAB представлен SDL-диаграммой на рис. 4.

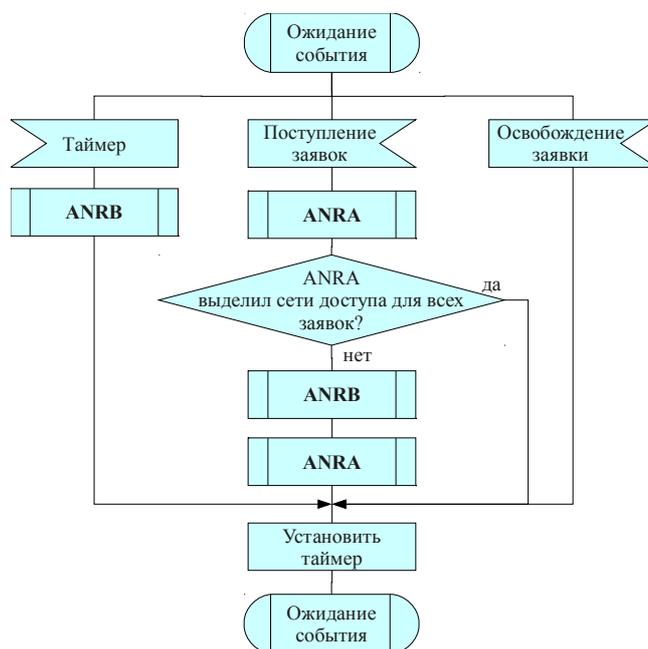


Рис. 4. SDL-диаграмма алгоритма эффективного распределения и балансировки ресурсов сетей доступа (ERAB)

Таким образом, предложенный новый метод распределения сетевого ресурса на основе нагрузки имеет два варианта реализации:

- базовый, посредством алгоритма ANRA;
- оптимизированный, посредством алгоритма ERAB.

В конце главы сделаны выводы о полученных новых результатах, представляющих научную новизну.

В главе 3 подтверждается, что предложенный во второй главе новый метод, алгоритмы реализации которого используют созданный в ходе диссертационного исследования математический аппарат, даёт возможность получить сбалансированное распределение ресурсов сетей доступа, что позволяет достичь цели диссертации.

При этом описывается программное моделирование, проведённое средствами скриптового языка PERL, и представляются его результаты, в качестве примера которых ниже приведены диаграммы показателей

«обслуженные заявки» (рис. 5) и «суммарный объем выделенной полосы доступа» (рис. 6).

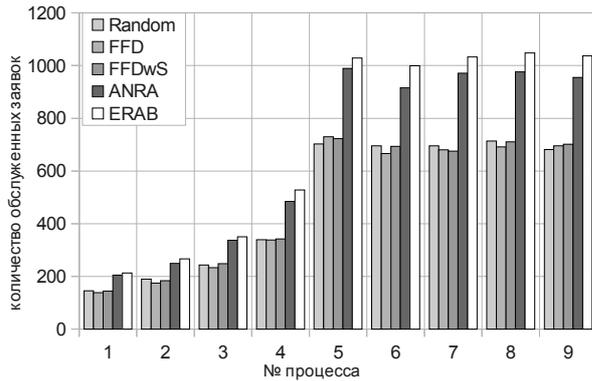


Рис. 5. Диаграмма показателя «обслуженные заявки».

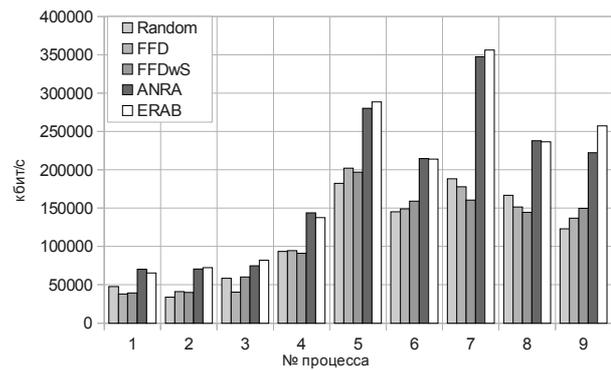


Рис. 6. Диаграмма показателя «суммарный объем выделенной полосы доступа».

На основании полученных результатов проведён сравнительный анализ предоставления эффективного доступа к услугам всеми известными ранее алгоритмами, включая Random-алгоритм (выбор случайной подходящей сети) и разработанными алгоритмами, представляющими, новый метод. Анализ показал, что распределение сетевого ресурса на основе нагрузки:

- посредством алгоритма ANRA повышает эффективность доступа к инфокоммуникационным услугам в среднем более чем на 45% по разным показателям, нежели посредством алгоритма FFDwS, учитывающем ширину полосы пропускания;
- посредством алгоритма ERAB повышает эффективность доступа к услугам, полученную с помощью алгоритма ANRA, дополнительно ещё на 4,3%.

Таким образом, посредством предложенного метода распределения сетевого ресурса на основе нагрузки обеспечивается эффективное обслуживание потоков заявок разных классов услуг разнородными сетями доступа, которые в совокупности образуют сеть ABC, что говорит о достигнутой цели диссертационного исследования.

Глава 4 содержит рекомендации по проектированию и развитию сетей постоянного наилучшего соединения. Сначала сформулированы принципы совместимости с сетями ABC, позволяющие видеть весь спектр проблем. Далее даны отдельные рекомендации по проектированию доступа к конвергентным услугам и к услугам сети Интернет. Для пересмотра доступа к услугам в сети Интернет исследованы способы туннелирования и идентификации хостов, показаны механизмы сохранения пользовательского соединения при смене сети доступа. Разработана модель обмена данными в сети ABC при доступе к инфокоммуникационным услугам (рис. 7), которая соответствует концептуальной модели, сформулированной в первой главе. В части логики работы сети сформулированы рекомендации по возможному расширению протоколов стека TCP/IP.

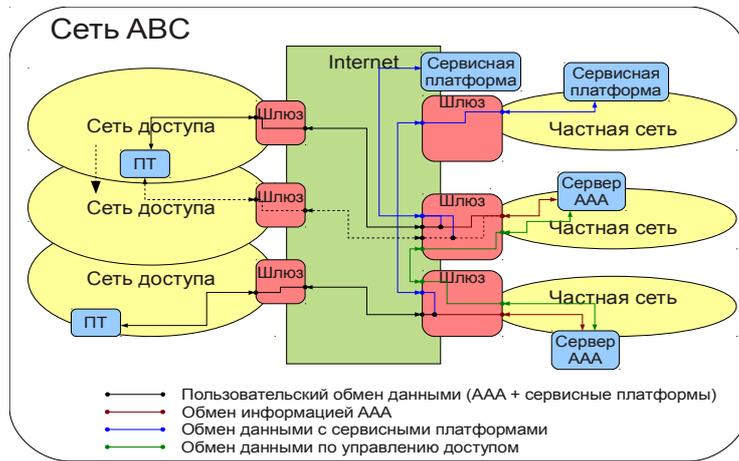


Рис. 7. Модель обмена данными в сети ABC при доступе к инфокоммуникационным услугам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе достигнута цель диссертационного исследования, решены все поставленные задачи. Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующим положениям:

1. Сформулирована концептуальная модель, которая воплощает идею наилучшего доступа. Модель предусматривает прозрачный доступ к услуге (принцип прозрачности), прозрачный выбор сети доступа (принцип независимости), прозрачный переход из одной сети доступа в другую (принцип бесшовности).
2. Соответственно концептуальной модели разработана сетевая модель наилучшего доступа к услугам.
3. Применительно к разработанной сетевой модели проведена оптимизация по критерию «равномерного распределения нагрузки между сетями доступа при миграции абонента». При этом, полученная оценочная функция эффективности распределения ресурса сети доступа, базирующаяся на нагрузке, создаваемой услугами на сеть доступа, позволяет сформулировать функцию оценки нового критерия оптимизации (целевую функцию). Эта оценочная функция учитывает количество и классы используемых услуг – особенности, присущие каждому принципу ABC, упрощая решение оптимизационной задачи. Целевая функция учитывает особенности, присущие всем принципам ABC, и представляет собой суперпозицию оценочных функций, позволяя для выбора наилучшей сети доступа оценивать равномерность распределения ресурсов сетей доступа с перекрывающимися зонами покрытия. Результатом оптимизации является разработанный алгоритм ANRA, который позволяет говорить о полученном новом методе распределения сетевого ресурса, учитывающем создаваемую нагрузку на сети доступа, так как представляет базовый вариант его реализации. Показано, что алгоритм повышает эффективность доступа к услугам в среднем более чем на 45% по разным показателям нежели учитывающий ширину полосы пропускания алгоритм FFDwS.

4. Критерий, рассматривающий распределение ресурсов сетей доступа с точки зрения нагрузки, создаваемой услугами на каждую сеть доступа, является лучшим решением, чем критерий, рассматривающий ширину полосы пропускания. Это подтверждают показатели работы алгоритма ANRA.

5. Разработан механизм балансировки используемых ресурсов сетей доступа с перекрывающимися зонами покрытия – алгоритм ANRB.

6. Разработан алгоритм эффективного распределения и балансировки ресурсов сетей доступа – алгоритм ERAB, представляющий оптимизированный вариант реализации нового метода распределения сетевого ресурса. Показано, что с помощью этого алгоритма эффективность доступа к услугам, полученная посредством разработанного базового алгоритма ANRA, повышается дополнительно ещё на 4,3%.

7. Разработанная сетевая модель наилучшего доступа к услугам и разработанный метод распределения сетевого ресурса на основе нагрузки рассматривают проблему высокотехнологичного доступа одновременно в двух аспектах: как со стороны сетей доступа, так и со стороны пользовательских устройств и приложений. Это подтверждается тем, что при решении оптимизационной задачи для пользовательских терминалов и приложений услуги предварительно классифицируются, а для сетей доступа балансируются и распределяются их сетевые ресурсы.

8. Проведённая разработка сетевой модели наилучшего доступа к услугам и проведённая оптимизация представляют вариант разработки сетевой инфраструктуры для сетей, поддерживающих постоянное наилучшее соединение.

9. На сегодня сети доступа обладают всеми необходимыми аппаратными ресурсами для практического воплощения концепции ABC. Проблемы остаются в протокольной и программной областях. Подтверждением этому является модель обмена данными в сети ABC при доступе к услугам.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Садовников В.Ю. Разработка универсального интерфейса в рамках концепции ABC, обеспечивающего доступ к FMC-услугам/ Четырнадцатая Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов// Аннотации работ победителей конкурса грантов Санкт-Петербурга 2009 года для студентов, аспирантов, молодых ученых и молодых кандидатов наук. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2009. – С. 116.

2. Садовников В.Ю. Анализ концепции ABC в условиях конвергенции сетей связи// Материалы 62-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. - СПб., 2010. – С. 16.

3. Садовников В.Ю. Подход к концепции ABC как к технологии выбора и переключения соединений в сетях доступа// Инфокоммуникационные технологии в науке, здравоохранении и образовании: сборник научных

- трудов IV международного научного конгресса «Нейробиотелеком-2010». - СПб: «ТЕЛЕДОМ» ГОУВПО СПбГУТ, 2010. – С. 44-48.
4. Садовников В.Ю. Способы обеспечения прозрачного доступа к FMC-услугам// Инфокоммуникационные технологии в науке, здравоохранении и образовании: сборник научных трудов IV международного научного конгресса «Нейробиотелеком-2010». - СПб: «ТЕЛЕДОМ» ГОУВПО СПбГУТ, 2010. – С. 34-37.
5. Садовников В.Ю. Подход к математической оценке бесшовного перехода между сетями доступа в рамках концепции ABC// 63-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. - СПб, 2011.
6. Pyattaev Alexander, Sadovnikov Vladimir. A Solver-resistant Challenge Response Spam Protection System // S. Balandin and A. Ovchinnikov, Proceedings of 9th Conference of Open Innovations Community FRUCT and 1st Regional MeeGo Summit Russia-Finland, Petrozavodsk, Russia. Publisher: SUAI. 25-29 April 2011. – P. 266. ISBN 978-5-8088-0606-1. P. 120-126.
7. Садовников В.Ю. Универсальный метод выбора наилучшей сети доступа для запрашиваемой услуги определённого класса//Информация и космос. - №3-4. 2012. - С. 15-19 (*из перечня ведущих периодических изданий, рекомендованных ВАК*).
8. Садовников В.Ю. Математическая модель доступа к FMC -услугам с учётом равномерной балансировки нагрузки между сетями доступа при миграции абонента //Информация и космос. - №2. - 2012. – С. 52-56 (*из перечня ведущих периодических изданий, рекомендованных ВАК*).
9. Садовников В.Ю. Сравнение алгоритмов распределения ресурсов сетей доступа // Информация и космос. - №2. - 2012. – С. 62-66 (*из перечня ведущих периодических изданий, рекомендованных ВАК*).
10. Садовников В.Ю. Оптимизация доступа к FMC-услугам на основе критерия равномерной балансировки нагрузки между сетями доступа при миграции абонента. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Серия «Информатика. Телекоммуникации. Управление». - №5(157) - 2012 – С. 27-32 (*из перечня ведущих периодических изданий, рекомендованных ВАК*).
11. Садовников В.Ю. Сравнение алгоритмов распределения ресурсов сетей доступа // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Серия «Информатика. Телекоммуникации. Управление». - №2(169) - 2013 – С. 17-22 (*из перечня ведущих периодических изданий, рекомендованных ВАК*).

Подписано в печать 16. 05. 2013.

Тираж 100 экз. Объем 1 печ. л. Заказ №

Отпечатано в тип. СПбГУТ, 191186, СПб, наб. р. Мойки, 61